图书情报工作
第62卷 第19期 2018年10月

倾斜角手势与传统界面导航技术在移动数字图书馆中的应用对比研究*

李雅洁
兰州大学图书馆 兰州 730000

摘要：［目的/意义］通过采用高效能的界面导航技术，部分解决在移动数字图书馆的使用过程中存在的用户交互绩效低、使用体验差的问题，以提高移动数字图书馆被使用时的交互绩效、易用性及对多样化应用场景的适用性。［方法/过程］以实际的数字图书馆资源定位操作为实验任务，通过定量实验收集所采用的界面导航技术和传统的导航技术在完成实验任务过程中的任务完成时间、准确率及被试者的主观评价等方面的数据；在SPSS 25中，采用RM-ANOVA对实验数据进行统计分析。［结果/结论］所采用的界面导航技术相对于传统的导航技术在实验任务完成效率方面提高了68%，准确率提高了29%；在被试者反映的主观偏好和眼疲劳方面均显著优于传统技术；所采用的技术支持单手操作和“盲操作”，比传统技术能更好地适应移动数字图书馆多样化的应用场景。

关键词：移动数字图书馆 数字图书馆 移动计算设备 界面导航 交互绩效 倾斜角手势
分类号：G251
DOI：10.13266/j.issn.0252-3116.2018.19.004

1 引言

移动数字图书馆(mobile digital libraries，MDLs)借助于移动计算设备的便携性，使数字图书馆(Digital Libraries，DLs)能够适用于多种应用场景，为DLs的使用提供了便利。但是MDLs在实际使用中不论其有用性、易用性[1]抑或是流畅体验(flow experience)[2]均要显著逊色于典型的网站数字图书馆。MDLs也没有如电子商务移动APP一样随着移动计算设备的普遍使用而被人们所广泛接受。随着硬件技术的不断进步，现在普通的移动计算设备相较于DLs设计之初的桌面计算机系统(即台式机)来说在处理及存储性能方面有过之而无不及。但是因为移动计算设备多样化的使用场景决定了其便携和小巧的特性，并且通常情况下不会配置有键盘、鼠标等典型的输入设备。移动计算设备硬件的自身特性决定了适用于其的交互方式和传统的基于台式机的交互方式会有显著不同。但是现有的MDLs基本上是为台式机所设计的DLs的功能简化版，其界面设计仍然沿袭了为传统桌面系统所设计的DLs的界面，显然这样的模式并不完全适用于移动计算设备：因而影响用户选择使用MDLs的主要因素为人机交互因素[3]。目前，移动计算设备典型的交互方式为多点触控模式，多点触控界面中普遍存在手指遮挡界面内容[4]和操作精度不足的问题，即“胖手指”问题[5]。而对于小尺寸的移动计算设备而言，这样的问题会比一般的触控设备更加突出。移动计算设备的使用场景通常是多样化的。在有些场景中，人们不便于进行双手操作，这时适用的操作方式为单手操作；而人们在参与交通的过程中，“盲操作”的方式会更加安全。诸如以上问题如果得不到有效的解决势必会影响MDLs的使用。

在人机交互领域中，对于移动计算设备上的交互技术，近年来已经有了广泛且深入的研究。这些研究考虑了移动计算设备其自身的特点和应用场景的多样性，所设计出的新技术能够发挥移动计算设备自身的优势并适应多样化的应用场景，为MDLs的发展提供了有益的参考。

近年来，国内外不少学者已经开始关注MDLs和人机交互结合的研究。研究多数从人机交互视角，探

* 本文系兰州大学图书馆项目“高校图书馆自动化管理系统优化策略研究”(项目编号：LZUL［201708］)研究成果之一。
作者简介：李雅洁(ORCID：0000-0001-6400-3989)，馆员，硕士，E-mail：305204962@163.com。
收稿日期：2018-03-08 修回日期：2018-05-09 本文起止页码：28-38 本文责任编辑：王传清

究不同因素对于人们在使用 DLs 的过程中对于用户交互绩效、交互感受等方面的影响[6-10]。而人们在使用 MDLs 的过程中,其中一项重要的操作就是从 MDLs 的首页到所需资源的定位,即界面导航操作。在现有的研究中,还鲜有关于在 MDLs 中的具体界面导航技术方面的研究。

本研究采用了一种适用于 MDLs 的界面导航技术,该技术可以胜任移动计算设备多样化的应用场景并可以发挥设备特有的交互潜力。同时,通过定量实验对比该界面导航技术与 DLs 现有的界面导航技术在交互绩效等方面的差异,验证所提出技术的高效能。

本研究的研究意义在于:在 MDLs 应用方面,所采用的基于倾斜角手势的界面导航技术相对于传统技术而言具有更高的交互绩效和导航准确率,能够胜任于 MDLs 多样化的应用场景中,并且可以降低 MDLs 使用过程中潜在的安全风险;通过将国内外最新的人机交互技术应用到 MDLs 中,以期引起国内同行对于该研究方向的关注。

2 相关研究

本研究的内容与移动数字图书馆、人机交互领域中有关在移动计算设备上的界面导航技术、从人机交互的视角研究数字图书馆或移动数字图书馆 3 个方面的研究有关,下面对这 3 个方面的相关研究进行简要论述。

2.1 移动数字图书馆

MDLs 是近年来图书情报领域研究的一个热点。相关的研究内容大致可以分为 13 个不同的方面,其中大多数研究主要集中在其中的 4 个方面。在对 MDLs 的研究中,MDLs 的系统功能在不同的条件下以不同的技术方案的设计与实现方法[11]或者是其某一功能模块的设计实现方法[12-13]等是持续受到关注的研究内容之一。另外一个受到关注较多的研究内容就是对于 MDLs 的发展现状的调查研究[14-18],这类研究一般通过有一定时间跨度的纵向调查及有一定内容广度的横向比较,从宏观的角度介绍 MDLs 的发展现状,对未来的 MDLs 发展趋势做出预测,并对今后 MDLs 的建设提供合理化建议。随着研究的发展,在 MDLs 的应用过程中,以用户为中心,调查用户的需求,重视用户的使用体验,了解用户感知,以更好地服务于读者的视角对于 MDLs 系统质量进行评估一类的研究[7,10-11,14,17,19-23],近年来越来越受到重视。与其它领域类似,MDLs 的技术、服务理念等发展到一定阶段之后,出现了面向不同用户群体的细分化服务,甚至是读者的个性化服务[22-23];这类研究体现的不仅是技术上的进步,更是服务理念的更新:由传统图书馆的"等你来"的被动服务模式,转变为"为你送"的考虑读者的信息接受情景和个体需求的知识推送等主动服务模式。除了以上 4 个主要方面之外,在 MDLs 的应用过程中以下相关问题也得到一定程度的关注:用户身份认证、服务授权[24-25]、数字资源的版权保护[26]、语义搜索和视觉搜索[27],移动设备上的阅读技术[15,20-21,28-30]、移动环境中的资源共享[15,20-21,28-30]、针对特殊用户群体如(盲人)的实用技术[31]、DLs 的使用场景对比调查[1,2,19]、基于 MDLs 的学习活动[32],以及从人机交互的视角对 MDLs 进行的研究[7,10,33]。

2.2 适用于移动计算设备的界面导航技术

标记菜单[34]进化自饼状菜单[35]。标记菜单的菜单命令和二维空间的某个方位有映射关系,因而它支持"盲操作";对于熟练用户来说标记菜单不需要在屏幕上绘制出其可视化的组件,所以它不会受到屏幕尺寸的影响,比较适合用于移动计算等小巧的设备上。S. Zhao 和 R. Balakrishnan[36]研究了在级联标记菜单中使用复合标记和简单标记操作时的差异。G. J. Lepinski、T. Grossman 和 G. Fitzmaurice[37]研究了标记菜单在多点触控界面上的使用。S. Zhao、M. Agrawala 和 K. Hinckley[38]提出分区和多边形标记菜单。T. Ni 等[39]借助于数据手套研究了通过手腕和手指的运动来进行标记菜单的选择。通过利用 6 个自由度的磁性跟踪器,D. Rado 和 D. F. Keefe[40]针对标记菜单的操作进行了研究。A. Kulshreshth 和 J. J. Laviola, Jr.[41]借助于手势捕捉摄像机研究了三维标记菜单。

目前,智能手机和平板电脑等移动设备通过其内置传感器,可以将倾斜角作为其基础输入数据。可以将倾斜角用于手持设备的多种交互任务中,如用于文档的滚动[42]、缩放和移动操作[42]、改变屏幕的方向[43]、菜单导航[44]、目标选取[45]和文本输入[46-47]等。对倾斜角在交互技术中的应用,倾斜角和被控制对象间存在有两种不同的映射方式,即位置控制和速率控制[48],研究结果发现位置控制的交互绩效更高。研究结果还发现不论是将倾斜角按照空间划分[46],或者是按照手掌和前臂的人体工程学的角度划分[49],普通人对倾斜角用于交互任务均有很好的控制能力。将设备的倾斜角用于人机交互任务,其控制输入通常被称为倾斜角手势。倾斜角手势在使用的过程中,因为人们可以通过自身的本体感觉区分不同范围的输入值,因

而它的使用不依赖可视化组件、不受屏幕尺寸的限制，支持“盲操作”，倾斜角手势非常适用于移动计算设备，可以适应其多样化的使用场景，并且可以解决触控界面中的手遮挡和“胖手指”等问题，同时还支持单手操作。

将手指计数菜单用于触控设备上的快速导航，也是近年来的研究方向之一。手指计数菜单通过将用于交互的手指个数和菜单命令的数字标签相匹配，从而完成对菜单命令的选择。手指计数菜单在触摸屏上[50]使用时，因为手指在屏幕上的触摸位置不受限制，所以可以解决触摸设备上的手遮挡和“胖手指”的问题；人们对于自己伸出的手指个数可以不通过目视就能确定，因而手指计数菜单也支持“盲操作”；但是手指计数菜单不支持单手操作。

2.3 从人机交互的视角研究数字图书馆

主要包括：①在 DLs 的使用过程中，不同因素对于人机交互的用户交互效率、交互感受等方面作用的研究[6-10]，这类研究一般通过问卷调查等手段对于可能影响用户的交互效率、交互感受等方面的因素收集实验数据，然后通过统计分析的方法研究这些因素的作用。②DLs 在特定设备上的资源信息显示技术的研究[15,20-21,28-30]，这类研究针对特定设备，如手机，考虑到设备屏幕的特殊性，研究适于数字文献资料在这些设备上的阅读内容呈现方式与技术。③有关特殊人群在使用 DLs 中的人机交互技术的研究[31,51]，这类研究关注特殊人群在使用 DLs 时的限制与特殊要求，从人机交互技术层面解决他们在使用 DLs 服务方面的困难。如设计和评估适用于盲人的交互界面的相关研究。④有关 DLs 从人机交互角度的设计实现体系的研究[52-53]，这类研究着眼于从人机交互角度出发，介绍 DLs 系统的整体或某个模块的设计及实现技术，着重于研究 DLs 系统的框架结构。⑤有关用户与图书馆员以及用户与用户之间的交互技术研究[54]，这类研究是从人机交互的角度来研究在使用 DLs 服务的过程中不同角色的人员之间的交流方式与技术。⑥从人机交互的角度，对比 DLs 的两种存在形式（MDLs 和网站数字图书馆）在有用性、易用性、交互绩效、用户主观选择等方面的异同[1-3,19]。

3 移动界面技术与传统导航方式的对比实验

3.1 实验目的

通过对已有研究的调研，倾斜角手势被认为最能够满足 MDLs 多样化的应用场景的要求，被选做 MDLs 的界面导航技术。本研究将以兰州大学图书馆为例，通过实验对比传统导航方式和利用倾斜角手势的界面导航技术在对 DLs 资源进行定位操作时的绩效差异；根据已有文献[3]的研究结果，95% 以上的受访者常用数字图书馆服务项目数在 4 个以内，所以在对比中仅考虑对被高频使用的 4 个服务项目的资源定位。通过招募被试者在 DLs 真实的应用环境中进行资源定位操作，确定采用新的界面导航技术对于 DLs 在移动设备上的使用是否有帮助。

3.2 实验设备与程序

实验中使用的设备为 MI Max2 手机，手机上运行 Android 7.1.1，CPU 为骁龙 625 八核处理器，最高主频 2.0GHz，运行内存 4GB，内置陀螺仪等传感器，屏幕大小为 6.44 英寸，屏幕分辨率为 1920 * 1080 像素。

首先，将兰州大学 DLs 的首页以及已有文献[3]调查中得到的 4 个被高频使用的服务项目导航页面及其所在的页面保存到本地计算机上。然后，在相应页面中嵌入 JavaScript 脚本代码以对页面上的相关事件进行响应。实验过程中的逻辑判断及数据记录等操作则通过 Android 代码实现。JavaScript 和 Android 之间通过 JavaScript Interface 进行连接。实验主程序在 Android Studio 环境中开发，所用语言为 Java，程序在开发环境中通过模拟器进行测试后安装在上述实验设备中运行。实验程序通过 Android 的内嵌 WebView 加载保存到本地的 DLs 相关页面，程序以伪随机的方式确定每次试验要定位的资源，并通过 Java 代码自动记录定位操作的完成时间及资源定位是否准确等信息，将实验数据以 Excel 工作簿的形式保存到手机本地文件中。

3.3 被试者

在兰州大学本部图书馆中随机招募了 12 位读者（9 个男生，3 个女生），全部为兰州大学的在校学生，年龄 22 －32 岁，惯用手为右手，都有超过 5 年的智能手机使用经验，熟悉手机的触控、倾斜、手势等操作方式，且没有使用手机、平板电脑等移动计算设备进行“盲操作”的经验。这 12 名被试者包括 3 名本科生、6 名硕士生、3 名博士生（其中一位同时是大学教师），他们均为高校图书馆读者，属于大学图书馆的主要使用群体，代表性较好。

3.4 实验任务

实验在步行和静立两种状态下，分别采用倾斜角手势和传统的导航方式在兰州大学图书馆网站页面中通过导航定位到“电子资源”“中文数据库列表”“外文

数据库列表”“中国 CNKI 学术总库”等资源对应的网页(根据已有文献[3]的结论,以上 4 个项目为兰州大学数字图书馆中的 4 个被高频使用的服务项目)。在每一种实验条件下,被试者共需定位打开上面 4 种资源对应的 20 个网页,每种目标资源出现的比例按照已有文献[3]中的百度统计结果进行分配。实验开始界面见图 1,被试者点击“BEGIN”菜单后,按照其在“Tilt Gesture”和“Traditional Navigation”之间的选择分别进入倾斜角手势和传统导航技术对应的实验界面。

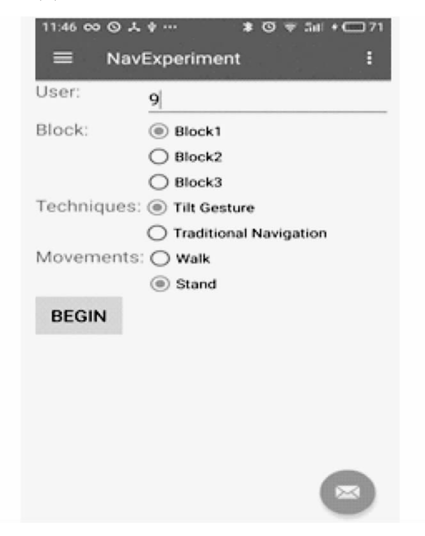


图 1 实验开始界面

被试者在采用倾斜角手势技术进行导航操作时,对 DLs 的每一个资源目标进行定位时,都从手机的基准位置状态下点击屏幕上任意位置开始操作。实验中,对手机的基准位置定义如下:手机的后端朝向操作者,屏幕向上基本保持水平(手机屏幕所在平面和水平面的夹角不超过 10°)。然后被试者将手机屏幕向前后左右 4 个方向倾斜,当手机屏幕所在平面和水平面的夹角超过 30°的阈值时,手机在 WebView 中加载前述中 DLs 中的 4 个被使用的高频服务项目中的某一个所对应的页面。为了被试者操作方便,将被使用频率最高的两个资源分别和向后、向右(所有的被试者在实验中都是左手持手机)的顺关节倾斜角手势做映射;而向前和向左的反关节倾斜角手势则和 4 个高频目标中被用频率最低的两个做映射。当手机的姿态再次被调整到基准位置时,实验就重新回到导航操作的起始状态。

在采用传统的导航方式进行操作时,被试者都是非惯用手持手机,用惯用手进行界面调整和目标的点击操作。每一次试验都是从 WebView 中加载兰州大学图书馆主页开始,到完成需要次数的链接点击后结束。当一次试验结束后,不论目标资源对应的网页是否被正确打开,程序都会自动在 WebView 中重新加载图书馆网站主页,然后下一次试验开始。每一个资源在被定位之前的一共需要被点击多少次由其资源导航层级数确定。其规定每一个资源的定位操作从兰州大学图书馆网站主页开始,资源导航层级数定义为在对一项资源的导航操作中,假设每一步操作都是正确的(即不能有后退操作),从主页开始到打开该项资源的网页结束,其间一共需要点击链接的个数。实验中被用到的 4 个资源对应的资源导航层级数如表 1 所示:

表 1 资源导航层级数

资源名称	电子资源	中文数据库	外文数据库	中国 CNKI 学术总库
导航层级数	1	2	2	3

被试者需要在静静站立和步行两种状态下分别完成相同的资源目标集中的所有资源导航操作。在步行的状态下进行实验时,被试者需要按照在正常速度行走的情况下完成实验任务。为了安全起见,所有的实验任务都在室内完成。室内行走路线见图 2。图 2 中虚线条为被试者实验时的行走路线,路线宽度在 1.5 米 - 2 米之间,由房间内的家具、花盆等隔离出来,路线周长约 30 米。在行走时被试者不许碰触室内的家具、花盆和墙壁。

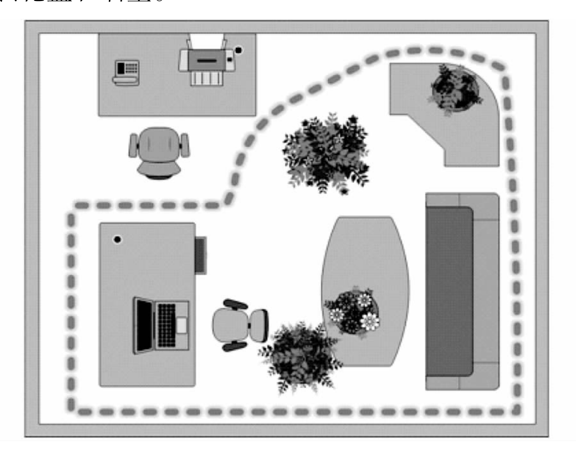


图 2 室内行走路线示意图(图中虚线条为行走路线)

3.5 实验流程与设计

实验正式开始前,要求每位被试者有 5 分钟左右的时间来熟悉实验任务。对每一个被试者先讲解并示范需要在实验中完成的操作任务,然后让每个被试者自己尝试进行完成实验任务的操作,操作结果没有被记录到实验结果数据中。

在正式的实验任务中,12 位被试者(Subjects)被要求完成 3 个 Blocks 的实验任务,每个 Block 中包含采用 2 种导航技术(Techniques)在 2 种运动状态(Movements)下分别完成 20 个资源的导航操作。这样全部

实验包括：

12 Subjects ×

3 Blocks locks ×

2 Techniques ×

2 Movements ×

20 Targets

=2 880 Trials，即 2 880 次试验。

实验中，如果某个目标选择不正确，手机将会播放警示音提醒被试者提高注意力，然后该目标会马上重复出现，直到被试者正确完成为止。每个被试者在一个 Block 中需完成的 80 次试验的目标资源都被打印出来提供给个人，该资源列表的次序和实验程序对于目标资源设定的出现次序相一致。被试者需要严格按照给定的目标次序完成全部实验任务。在采用倾斜角手势进行资源导航时，资源和手机屏幕的倾斜方位映射关系始终保持不变，实验时，该映射关系也以打印图的方式提供给每一位被试者。2 种导航技术和 2 种运动状态对应的 4 种组合次序，以 4 ×4 拉丁方在 12 位被试者之间做均衡。在实验过程中，实验程序记录每次试验的完成时间及是否正确完成等信息。在采用传统的导航方式进行实验时，实验程序会为每个资源目标对象添加资源导航层级数，被试者每点击一次链接则该数值减小 1，当目标对象的资源导航层级数为 0 时，对于该目标的导航操作结束，实验程序自动加载图书馆网站主页。在实验过程中，所有被试者被要求既快且准地对目标资源进行定位。在完成定量的实验操作任务后，提供了一份主观调查表给每位被试者，在调查表中需要对实验中用到的两种导航技术，就操作过程的眼疲劳程度、手疲劳程度和被试者个人偏好 3 个方面进行等级评价。对每项调查内容的评价都对应有 1 –7 的 7 个等级分，其中 1 代表最差情况，而 7 代表最好情况。问卷的最后还有 1 个开放问题，请被调查者就所研究内容涉及的各个方面进行自由评论。

对于实验结果数据，本研究采用 3 Blocks × 2 Techniques × 2 Movements × 3 Resource Levels 重复测量的方差分析（RM-ANOVA）进行分析。其中 Resource Level 为资源的导航层级数。每个人完成整个实验大约需要 45 分钟的时间。

3.6 实验结果

实验数据经过预处理之后，在 SPSS 中对其进行重复测量的方差分析。从实验任务完成的时间和准确率两方面对统计结果进行分析。分析过程中，将重点关注以下假设是否成立：

H1 Block 的不同水平对于实验任务的完成时间是有显著影响的。

H2 不同的导航技术对于实验任务的完成时间影响显著。

H3 不同的运动状态对于实验任务的完成时间影响显著。

H4 不同的资源导航层级对于实验任务完成时间影响显著。

H5 不同的资源导航层级对于实验任务完成时间的显著影响是由传统的导航技术造成的，在用倾斜角手势进行导航时，不同导航层级的资源定位操作时间差异不显著。

H6 运动状态和导航技术之间对于实验任务的完成时间的影响存在交互效应。

H7 Block 的不同水平对于实验任务完成的准确率有显著影响。

H8 不同的导航技术对于实验任务完成的准确率有显著影响。

H9 不同的运动状态对于实验任务完成的准确率有显著影响。

H10 不同的资源导航层级对于实验任务完成的准确率有显著影响。

H11 不同的资源导航层级对于实验任务完成的准确率有显著影响，这一影响是由传统的导航技术造成的；在用倾斜角手势进行导航时，不同导航层级的资源定位操作准确率的差异不显著。

H12 运动状态和导航技术之间对于实验任务完成的准确率的影响存在交互效应。

3.6.1 实验任务完成时间的结果分析 球形检验结果显示，除了 Block * Movement * Resource Level 没有通过球形检验（$\chi^2(9) = 18.9, p < 0.05$）之外，其它所有因素的主效应和交互效应都通过了球形检验。

（1）Block 的主效应分析。RM-ANOVA 的组内测试结果表明，Block 对于实验任务完成时间有显著影响（$F(2,22) = 21.35, p < 0.000\ 1$），从图 3 中可见，在 Block1 中被试者完成导航操作的时间均值为 7 800 毫秒；而这一结果在 Block2 和 Block3 中分别降低到6 849 毫秒和 6 515 毫秒。组内测试的对比结果显示，Block1 和 Block2 之间的差异显著（$F(1,11) = 25.24, p < 0.000\ 1$），而 Block2 和 Block3 之间的差异不显著（$F(1,11) = 2.34, p > 0.05$）。在事后多重比较的结果中显示，Block1 和 Block2、Block3 之间都存在显著差异，而 Block2 和 Block3 之间的差异不显著。这样的结

果表明,被试者在完成导航任务时的操作时间在实验开始阶段有明显降低,从第二个 Block 开始趋于稳定。

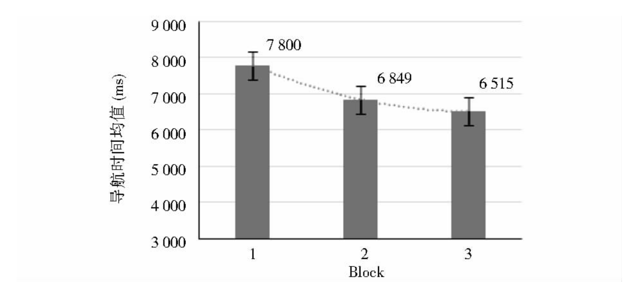


图 3　不同 Block 的任务完成时间均值

(2)导航技术的主效应分析。从组内测试效应表中可以发现,导航技术对于实验任务的完成时间有非常显著的影响($F(1,11) = 4\ 239.28$, $p < 0.000\ 1$)。图 4 显示,采用倾斜角手势进行 DLs 资源导航操作具有明显的速度优势,被试者通过该技术完成导航的时间均值为 3 414 毫秒,远低于采用传统导航方式的时间均值 10 695 毫秒。该结果表明采用新的导航技术极大地降低了 DLs 常用服务项目的资源定位时间。

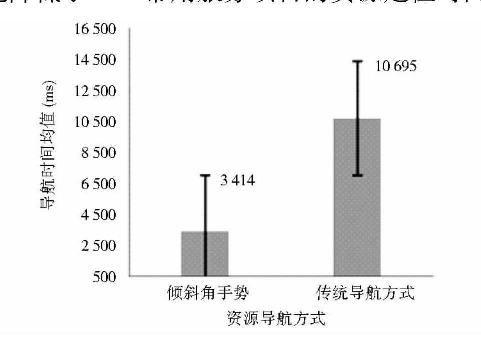


图 4　不同导航技术的任务完成时间均值

(3)运动状态的主效应分析。组内测试的效应表显示,被试者完成任务时的运动状态对于实验任务的完成时间同样有显著的影响($F(1,11) = 110.78$, $p < 0.000\ 1$)。图 5 显示,步行会明显地降低被试者完成任务的速度,在步行状态下被试者完成资源定位的导航操作时间均值为 7 473 毫秒,而在静立条件下完成同样的操作任务平均时间就降低到了 6 636 毫秒。

(4)资源导航层级的主效应分析及导航技术与资源导航层级交互效应分析。方差分析的组内测试效应表显示:资源的导航层级对于资源定位时间是有显著影响的($F(2,22) = 360.34$, $p < 0.000\ 1$)。从图 6 中可见,在实验中,导航层级数是 1、2、3 的 DLs 资源的导航时间均值分别为:4 157 毫秒、7 041 毫秒和 9 967 毫秒。组内测试的对比结果表明导航层级数 1 和 2 的资源之间($F(1,11) = 492.24$, $p < 0.000\ 1$)及层级数 2

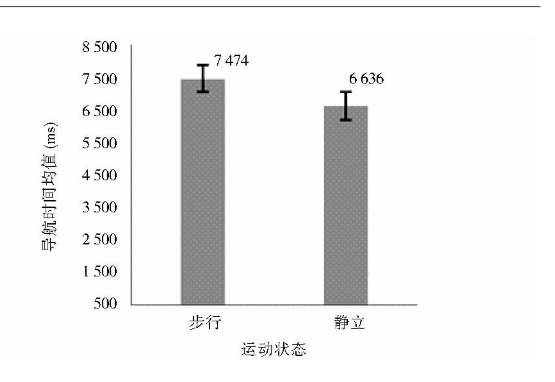


图 5　不同运动状态下的任务完成时间均值

和 3 的资源之间($F(1,11) = 135.80$, $p < 0.000\ 1$)的任务完成时间的差异均是显著的。而事后多重对比结果显示:3 个不同的导航层级的资源之间在实验任务的完成时间方面两两之间的差异都是显著的。

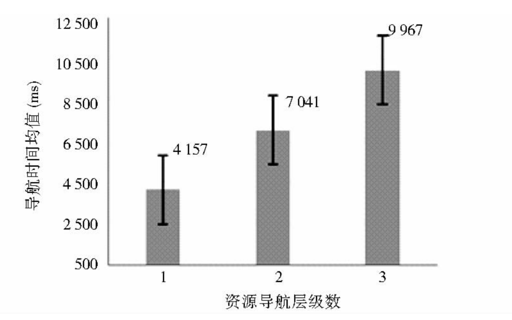


图 6　不同资源导航层级下的任务完成时间均值

下面从导航技术与资源导航层级交互效应进一步分析造成以上差异的真正原因。组内测效应表显示以上交互效应对于实验完成时间的影响是显著的($F(2,22) = 326.35$, $p < 0.000\ 1$),即资源导航层级的不同水平对任务完成时间的影响是和在完成任务时所采用的导航技术相关的。当采用倾斜角手势进行 DLs 资源导航操作时,实验任务的完成时间在不同的资源导航层级水平下基本上是没有差异的:层级数是 1、2、3 时对应的任务完成时间均值分别为 3 522 毫秒、3 386 毫秒与 3 336 毫秒。而当采用传统的导航技术完成同样的实验任务时,资源导航层级数 1、2、3 对应的导航时间均值分别是:4 792 毫秒、10 696 毫秒和 16 598 毫秒;其两两之间的差异相当显著,见图 7。

(5)导航技术与运动状态交互效应分析。从组内测试的效应表中发现,导航技术与运动状态交互效应对于实验任务完成时间的影响并不显著($F(1,11) = 2.86$, $p > 0.1$),从图 8 中可见,这与前面的假设(H6)不符。采用倾斜角手势对 DLs 资源进行导航时,被试者进行的是“盲操作”;而采用传统的导航技术完成操作被试者则需要通过注视手机屏幕上的图形界面

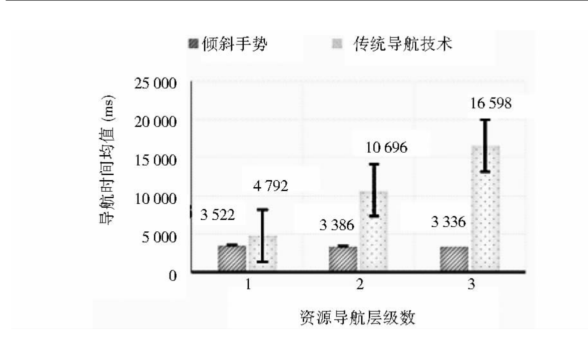


图 7　不同的资源导航层级与导航技术下的任务完成时间均值

才可以完成。因而，在步行情况下，被试者采用传统的导航方式完成实验任务时应该更容易受到影响。但是实验结果表明，运动状态的不同水平对不同导航技术在导航操作任务的完成时间方面的影响并无显著的差异。推测造成这一结果的原因应该是和实验流程设计有关：在所有情况下完成实验任务时，被试者都需要去目视打印纸上的任务目标，因而即使采用倾斜角手势的导航技术，在实验过程中，被试者同样需要将视觉参与到实验任务中去。而在实际应用的过程中，用户采用倾斜角手势的导航技术进行 DLs 资源定位时可以完全做到"盲操作"，在参与交通时使用该技术相对于传统导航技术来说更为合适。

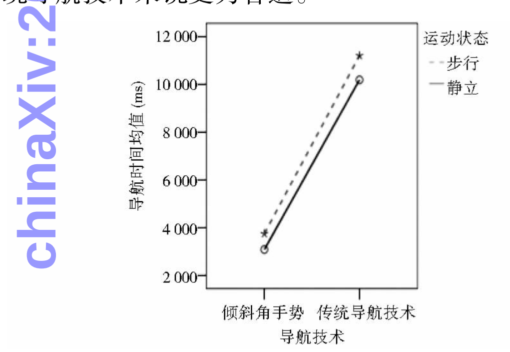


图 8　导航技术和运动状态对于任务完成时间的交互效应

3.6.2　实验任务错误率分析　球形检验结果中，所有项目的相伴概率值均大于 5%，结果不显著，即所有项目都通过了球形检验。

（1）Block 的主效应分析。组内测试效应结果显示，Block 对于实验任务的完成准确率具有显著影响（$F(2,22) = 20.14$，$p < 0.000\ 1$）。从图 9 中可见，Block1、Block2 和 Block3 中的实验任务错误率分别是 4.3%、2.5% 和 1.9%。组内测试的对比结果显示任务完成的错误率在 Block 因素的 1、2 水平之间差异显著（$F(1,11) = 19.71$，$p = 0.001$），在 2、3 水平之间差异不显著（$F(1,11) = 2.51$，$p > 0.1$）。而事后的多重对比结果显示，资源定位错误率在 Block 的 1、3 水平之间的差异也是显著的（$p < 0.000\ 1$）。

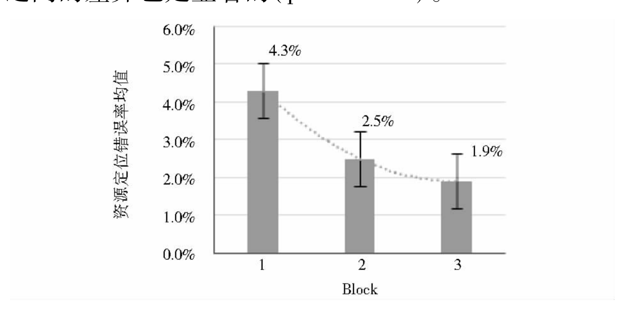


图 9　Block 对于任务完成准确率的主效应

（2）导航技术的主效应分析。从组内测试效应的结果中发现，导航技术对于实验任务完成的出错率具有显著的影响（$F(1,11) = 28.19$，$p < 0.000\ 1$）。从图 10 中可见，采用倾斜角手势完成实验任务时的错误率均值为 2.4%，比采用传统的导航技术的错误率（3.4%）明显要低。对于这一结果，需要结合导航技术与资源导航层级对于任务完成准确率的交互效应进行理解。从图 11 中可见，对于资源导航层级数为 1 的 DLs 资源进行导航时，采用不同的导航技术，实验任务完成的准确率并无明显的差异；而在对资源导航层级数为 2 和 3 的资源进行导航时，采用传统的导航方式完成任务时的错误率要明显高于采用倾斜角手势的错误率。这是因为对于需要多层级导航定位的资源进行导航的过程中，采用传统的导航方式每一级的导航出错都会导致资源定位错误，其资源定位错误率也会随之增加；而采用倾斜角手势进行资源定位时，不论需要定位的资源在现有网站中的位置如何，其本质都是一步操作即可完成定位，故而其操作的准确率可以对不同导航层级的资源定位始终保持较高的水平。

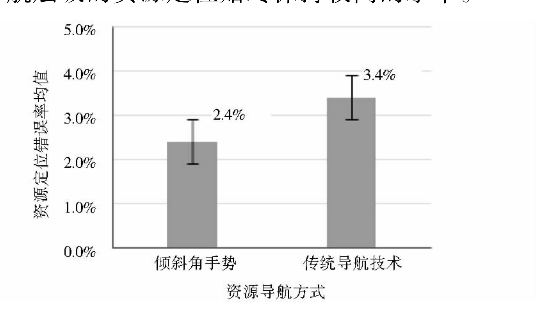


图 10　导航技术对于任务完成准确率的主效应

（3）运动状态的主效应分析。组内测试的效应结果表明，运动状态的不同水平对实验任务完成时的错误率具有显著的影响（$F(1,11) = 42.92$，$p < 0.000\ 1$）。从图 12 中可见，被试者在步行状态下完成

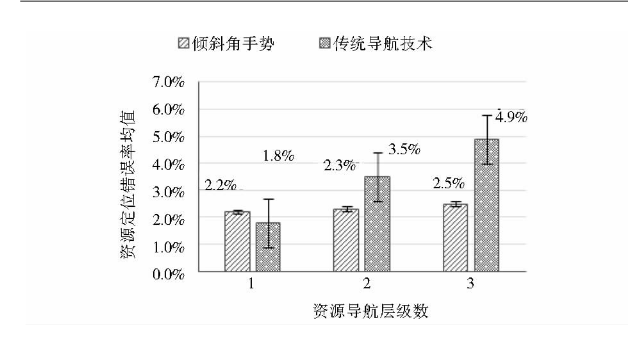


图 11　导航技术与资源导航层级对于任务完成准确率的交互效应

实验时的错误率为 3.7%，比在静立状态下完成实验的错误率(2.1%)显著要高。这是因为在步行时进行实验，被试者除了要关注实验任务之外，还需要关注道路的情况，因而会导致更多的操作错误。

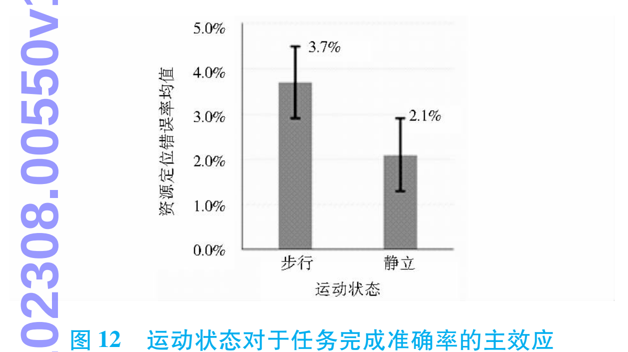


图 12　运动状态对于任务完成准确率的主效应

(4)资源导航层级的主效应及导航技术与资源导航层级交互效应分析。从组内测试的效应表中可以发现，资源导航层级的不同水平对于实验任务完成时的错误率具有显著的影响($F(2,22) = 29.98$, $p < 0.0001$)。在对导航层级数分别是 1、2、3 的资源进行定位操作时，任务完成时的平均错误率分别是 2.0%、2.9% 和 3.7%。组内测试的对比结果显示，资源导航层级因素的 1、2 两个水平之间($F(1,11) = 33.33$, $p < 0.0001$)，与 2、3 两个水平之间($F(1,11) = 10.4$, $p < 0.01$)的任务完成错误率的差异均是显著的。而事后多重对比结果显示，1、3 两个水平之间的差异也是显著的($p < 0.0001$)，见图 13。

要准确理解以上的结果，则需要对导航技术与资源导航层级交互效应同时进行分析。从组内测试的效应表中，发现导航技术与资源导航层级对于实验任务完成时的错误率存在显著的交互效应($F(2,22) = 23.10$, $p < 0.0001$)，见图 11。也就是说，任务完成时的错误率受到资源导航层级的不同水平影响大小和导航时采用的不同导航技术有关。从图 11 中可以看出，采用倾斜角手势进行资源定位时，任务完成时的错误

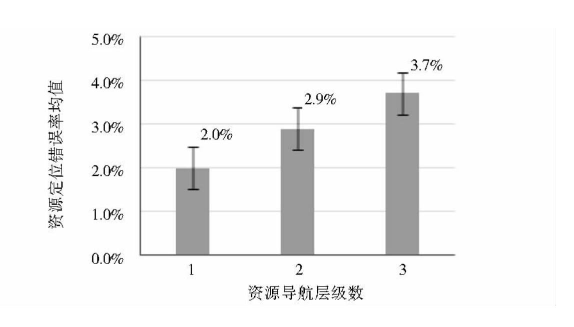


图 13　资源导航层级对于任务完成准确率的主效应

率基本上不受资源导航层级的不同水平影响；而采用传统的导航技术完成相同的操作时，错误率却显著地随着资源导航层级的增长而增长。

(5)导航技术与运动状态交互效应分析。组内测试的效应表显示导航技术与运动状态交互效应对于实验任务完成时的错误率没有显著影响($F(1,11) = 1.15$, $p = 0.31$)，这一结果与预期(H12)不相符。这一结论与实验任务完成时的时间结果相似，如图 14 所示：

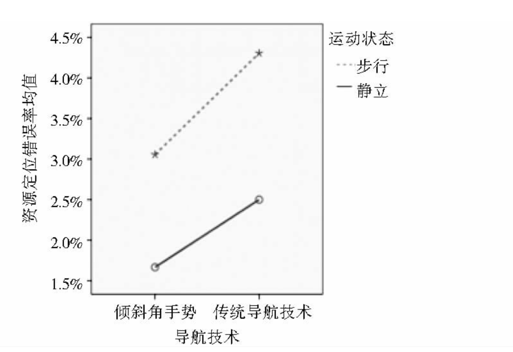


图 14　导航技术与运动状态对于任务完成准确率的交互效应

3.6.3　主观调查结果分析　在上述实验完成之后，笔者对每一个被试者进行了问卷调查。调查问卷包括对于实验中所采用的两种导航技术的 3 个等级得分评价和 1 个开放性的自由评价。这 3 个等级评价因素分别是：被试者的主观偏好、使用一项技术过程中容易引起眼疲劳和手疲劳的程度。对于每个评价因素的打分都有 1－7 的 7 个级别，其中 1 代表最差，7 代表最优。

图 15 为被试者对于两种导航技术主观偏好的调查结果。从图 15 中可以看出，被试者对于倾斜角手势的评价较高，表现出他们对于这项技术的喜爱。大部分被试者表示倾斜角手势导航技术比较有趣，在步行状态下尤为有用。

从图 16 中可以看出，被试者认为传统的导航技术在使用的过程中更加容易导致眼疲劳。12 位被试者当中有 10 位认为在步行状态下完成实验时，传统的导

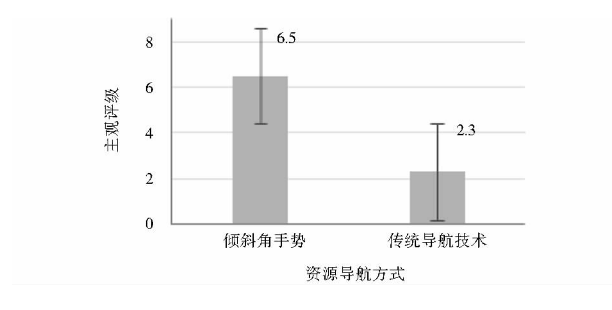


图 15　被试者对于导航技术的主观偏好

航技术特别容易引起眼睛疲劳。在这种情况下,做实验的过程中要时时分神去关注行进道路的情况,特别容易让人感觉紧张;如果是在参与实际道路交通时完成实验会有较大的安全风险。而倾斜角手势因为支持“盲操作”,故而被试者认为其很不容易引起眼疲劳。

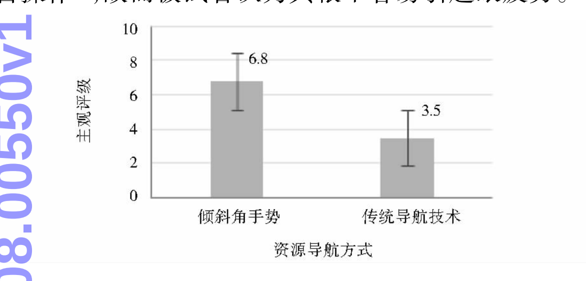


图 16　被试者评价导航技术容易引起眼疲劳的程度

图 17 为被试者对于两种导航技术的使用在容易引起手疲劳方面的主观评价结果。从图 17 中可以看出,被试者在手疲劳方面对于实验中采用的两种导航技术的评价均不高,而倾斜角手势的得分则更为逊色。大部分被试者表示,在实验中连续地对于屏幕进行点击或者翻动手腕来转动手机都容易让人感觉到手部的疲劳;但同时也表示如果是在实际的使用过程中,因为对于 DLs 的资源导航不会像在实验中那样连续进行,故而不会引起手疲劳的感觉。

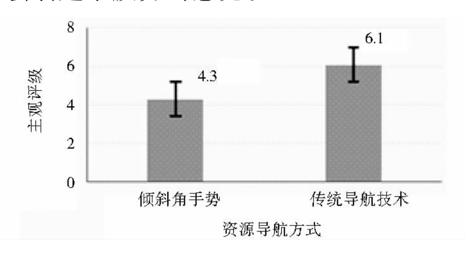


图 17　被试者评价导航技术容易引起手疲劳的程度

4　讨论与结语

本研究探讨了采用倾斜角手势界面导航技术在对真实的数字图书馆资源进行导航的操作绩效问题。通过与传统的导航技术对比,发现采用倾斜角手势界面导航技术在完成相同的资源目标定位过程中,不论任务完成的速度还是准确度都要显著优于在现有的数字图书馆实际使用的传统导航技术。而且新的导航技术还可以降低人们在参与交通的情况下访问数字图书馆时潜在的安全风险。

当然,在现有的数字图书馆网站没有针对移动设备做出系统调整之前,采用新的界面导航技术仅仅可以解决数字图书馆被高频使用的服务项目的快速定位问题。要想使数字图书馆真正能在移动设备上被高效地使用,还有很多工作要做。比较可喜的是现在已经有针对数字图书馆开发的一些移动 APP,这表明在移动设备上访问数字图书馆的需求已经引起了相关人员的关注。但是目前的数字图书馆 APP 的设计基本上还停留在将传统的数字图书馆的资源重新进行布局和精简这样的水平上。这样的 APP 的设计没有充分考虑手机等移动计算设备自身的特点,也没有充分挖掘移动设备的特有的交互潜力,没有解决在使用移动设备过程中固有的一些突出问题,如对于单手操作的支持、胖手指问题、手遮挡问题以及安全问题等。因而,将人机交互和移动数字图书馆两个领域相结合进行学科交叉的研究是一个值得关注的研究课题。

本研究还存在一定局限性。首先,按照人机交互领域中可控实验的一般设计规范,全部实验都是在室内完成的,这样设计为了让实验过程完全可控减少随机因素的干扰,另外也是为了保证被试者的安全;虽然这样的实验设计是对实验过程合理的简化,也是人机交互领域中惯常的做法,但是实验条件毕竟和移动计算设备可能的使用场景还有一定的差别。在以后的研究中,计划在保证安全的前提下,加入一些移动计算设备在真实使用场景中的实验内容,如在被试者乘坐公交时的测试等。实验中的被试者全部为在校学生(或教师),是高校图书馆的主要使用者,具有较好的代表性,但是还有一些图书馆的用户群体(如老人)也应在将来的研究中进行考虑。其次,因为人们对于设备倾斜角的控制能力是有一定限度的,这就决定了采用倾斜角手势进行界面导航时,能够同时提供的导航项目有一定的数量限制。

参考文献:

[1] ZHA X, ZHANG J, YAN Y. Comparing digital libraries in the web and mobile contexts from the perspective of the digital divide[J]. Journal of librarianship and information science, 2015, 47(4): 330 - 340.

[2] ZHA X, ZHANG J, YAN Y, et al. Comparing flow experience in using digital libraries web and mobile context[J]. Library hi tech, 2015, 33(1): 41 - 53.

[3] 李雅洁. 服务于移动数字图书馆界面设计的数字图书馆使用调查研究[J]. 图书馆, 2018 (10):30－39.

[4] VOGEL D, CASIEZ G. Hand occlusion on a multi-touch tabletop [C]// Proceedings of the 2012 ACM annual conference on human factors in computing systems. Austin: ACM, 2012: 2307－2316.

[5] SCHWARZ J, MANKOFF J, HUDSON S E. An architecture for generating interactive feedback in probabilistic user interfaces [C]// Proceedings of the 33rd annual ACM conference on human factors in computing systems. Seoul: ACM, 2015: 2545－2554.

[6] 李月琳, 肖雪, 仝晓云. 数字图书馆中人机交互维度与用户交互绩效的关系研究[J]. 图书情报工作, 2014, 58(2): 38－46,120.

[7] 赵杨. 数字图书馆移动服务交互质量控制机制研究——基于用户体验的视角[J]. 情报杂志, 2014(4): 184－189.

[8] 李月琳, 梁娜, 齐雪. 从交互维度到交互功能:构建数字图书馆交互评估理论模型[J]. 中国图书馆学报, 2016, 42(1): 66－82.

[9] 闫希敏, 李月琳. 关键成功因素视角下的数字图书馆交互评估模型[J]. 图书情报工作, 2016,60 (10): 24－32.

[10] 施国洪, 樊欣荣, 夏前龙, 等. 移动图书馆交互质量影响因素研究[J]. 情报科学, 2017 (2): 50－55.

[11] 赵玉明, 明均仁, 杨艳妮. 移动图书馆的用户接受模型研究[J]. 图书馆论坛, 2015 (10): 74－81.

[12] 周青建. 基于移动云的数字图书馆知识服务模式研究[J]. 图书馆研究与工作, 2013, 43(6): 87－90.

[13] 朱玉强. 微信小程序在图书馆移动服务中的应用实践 ——以排架游戏为例[J]. 图书馆论坛, 2017, 37(7): 132－138.

[14] HØIVIK J. Mobile digital library in the National Library of Norway [J]. Library hi tech news, 2011, 28(2): 1－8.

[15] 黄丹. 数字环境下公共图书馆的移动阅读方案——以南京图书馆为例[J]. 图书情报工作, 2012,56(S2): 188－190.

[16] 刘松柏, 姜海峰, 李书宁. 移动图书馆建设的难点与趋势[J]. 图书情报工作, 2013, 57(4): 79－83.

[17] 朱甜. 美术院校移动数字图书馆服务调查与分析——以中国美术学院为例[J]. 情报探索, 2013 (2): 126－128,131.

[18] 黄晓斌, 王尧. 我国数字图书馆研究热点的发展走向——基于近 10 年的博硕士学位论文分析[J]. 图书馆学研究, 2017 (8): 2－10.

[19] ZHA X, ZHANG J, LI L, et al. Exploring the adoption of digital libraries in the mobile context: the effect of psychological factors and mobile context factors[J]. Information development, 2016, 32 (4): 1155－1167.

[20] 薛静. 趋势、定位、补充:图书馆移动阅读服务的理性思考[J]. 图书馆, 2016 (1): 13－18.

[21] 叶文伟. "互联网＋"时代背景下图书馆数字阅读服务策略探析[J]. 图书馆工作与研究, 2016 (8): 101－104.

[22] 李书宁, 殷利艳. 打造用户情景敏感的移动图书馆服务[J]. 图书馆, 2017 (4): 76－81.

[23] 王福. 移动图书馆信息接受情境计算模式及其细化研究[J]. 图书馆, 2017 (7): 99－105.

[24] 欧阳美林. 移动数字图书馆需要关注的两个问题[J]. 情报资料工作, 2012, 33(3): 101－103.

[25] 韦云波, 沈宏良, 吕元康. 移动阅读的授权访问技术在数字图书馆中的应用研究[J]. 现代情报, 2012, 32(4): 49－52.

[26] 孙琴. 试论图书馆数字资源版权保护问题——兼谈美国 hathitrust 案的启示[J]. 图书馆工作与研究, 2016 (6): 34－38.

[27] 齐云飞, 赵宇翔, 朱庆华. 关联数据在数字图书馆移动视觉搜索系统中的应用研究[J]. 现代图书情报技术, 2017 (1): 81－90.

[28] 肖学斌. 移动数字图书馆的发展与展望[J]. 图书馆杂志, 2009 (4): 7－9,16.

[29] 赵丽萍. 电子纸驱动下的移动数字图书馆[J]. 图书情报工作, 2010, 54(3): 44－47.

[30] 欧阳剑, 韩博文. 基于移动终端的图书馆电子资源内容访问研究与实现[J]. 图书馆论坛, 2012, 32(3): 18－22.

[31] LUNDH A H, JOHNSON G M. The use of digital talking books by people with print disabilities: a literature review[J]. Library hi tech, 2015, 33(1): 54－64.

[32] SHIH J, HWANG G, CHU Y, et al. An investigation-based learning model for using digital libraries to support mobile learning activities[J]. Electronic library, 2011, 29(4): 488－505.

[33] CASTELLANOS N, SANCHEZ J A. Pops: mobile access to digital library resources[C]//Proceedings of 2003 joint conference on digital libraries. Houston: IEEE, 2003: 184－185.

[34] KURTENBACH G, BUXTON W. User learning and performance with marking menus[C]//Conference companion on human factors in computing systems. Boston: ACM, 1994: 258－264.

[35] CALLAHAN J, HOPKINS D, WEISER M, et al. An empirical comparison of pie vs. Linear menus[C]//Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems. Washington: ACM, 1988: 95－100.

[36] ZHAO S, BALAKRISHNAN R. Simple vs. compound mark hierarchical marking menus[C]//Proceedings of the 17th annual ACM symposium on user interface software and technology. Santa Fe: ACM, 2004: 33－42.

[37] LEPINSKI G J, GROSSMAN T, FITZMAURICE G. The design and evaluation of multitouch marking menus[C]//Proceedings of the 28th international conference on human factors in computing systems. Atlanta: ACM, 2010: 2233－2242.

[38] ZHAO S, AGRAWALA M, HINCKLEY K. Zone and polygon menus: using relative position to increase the breadth of multi-stroke marking menus[C]//Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems. Montréal: ACM, 2006: 1077－1086.

[39] NI T, BOWMAN D A, NORTH C, et al. Design and evaluation of freehand menu selection interfaces using tilt and pinch gestures [J]. International journal of human-computer studies, 2011, 69 (9): 551－562.

[40] RADO D, KEEFE D F. rAir flow menus: toward reliable 3d ges-

tural input for radial marking menus[C]// SIGGRAPH '09: Posters. New Orleans: ACM, 2009: No. 26.

[41] KULSHRESHTH A, LAVIOLA Jr J J. Exploring the usefulness of finger-based 3d gesture menu selection [C]//Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems. Toronto: ACM, 2014: 1093 - 1102.

[42] SMALL D, ISHII H. Design of spatially aware graspable displays [C]//CHI '97 extended abstracts on human factors in computing systems. New York: ACM, 1997: 367 - 368.

[43] HINCKLEY K, PIERCE J, SINCLAIR M, et al. Sensing techniques for mobile interaction[C]//Proceedings of the 13th annual ACM symposium on user interface software and technology. San Diego: ACM, 2000: 91 - 100.

[44] REKIMOTO J. Tilting operations for small screen interfaces[C]// Proceedings of the 9th annual ACM symposium on user interface software and technology. Seattle, Washington: ACM, 1996: 167 - 168.

[45] CROSSAN A, WILLIAMSON J, BREWSTER S, et al. Wrist rotation for interaction in mobile contexts[C]//Proceedings of the 10th international conference on human computer interaction with mobile devices and services. Amsterdam: ACM, 2008: 435 - 438.

[46] SAZAWAL V, WANT R, BORRIELLO G. The unigesture approach[C]// International conference on mobile human-computer interaction. Berlin: Springer, 2002: 256 - 270.

[47] WIGDOR D, BALAKRISHNAN R. Tilttext: using tilt for text input to mobile phones[C]//Proceedings of UIST 2003. Vancouver: ACM, 2003: 81 - 90.

[48] TEATHER R J, MACKENZIE I S. Position vs. velocity control for tilt-based interaction[C]// Proceedings of graphics interface conference 2014. Toronto: Canadian Information Processing Society, 2014: 51 - 58.

[49] RAHMAN M, GUSTAFSON S, IRANI P, et al. Tilt techniques: investigating the dexterity of wrist-based input[C]// Proceedings of the 27th international conference on human factors in computing systems. Boston: ACM, 2009: 1943 - 1952.

[50] BAILLY G, LECOLINET E, GUIARD Y. Finger-count & radial-stroke shortcuts: 2 techniques for augmenting linear menus on multi-touch surfaces[C]// International conference on human factors in computing systems, CHI 2010. New York: ACM, 2010: 591 - 594.

[51] 王琳琳. 盲人手机界面的交互设计和评估[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.

[52] 李萍, 郑建明. 智慧图书馆中智能交互系统的研究和应用[J]. 图书馆学研究, 2016 (11): 34 - 38.

[53] 穆向阳. 基于 NGN 和本体的情景推理应用于手机图书馆个性化服务研究[J]. 情报科学, 2014, 32(3): 138 - 143.

[54] 董坚峰, 肖丽艳. 基于 Web 2.0 的图书馆信息服务交互与服务模式创新研究[J]. 图书馆学研究, 2011 (5): 82 - 85.

A Comparative Study of Tilting-Gesture-Based and Traditional Interfacial Navigational Techniques for Mobile Digital Libraries

Li Yajie
Library of Lanzhou University, Lanzhou 730000

Abstract: [**Purpose/significance**] We proposed an efficient interfacial navigational technique for mobile digital libraries(MDLs) to partially overcome their drawbacks of low interaction performance and poor user experience, and enhance ease of use and usefulness of MDLs. [**Method/process**] A quantitative experiment was conducted to compare the two interfacial navigational techniques, i. e. the proposed and the traditional. Together with subjective data of personal preference and eye-fatigue from the subjects, the average time and accuracy per trial to locate the given digital resources of the practical digital library of Lanzhou University were gathered. The experimental data were analyzed by RM-ANOVA in SPSS 25. [**Result/conclusion**] The proposed technique has improved navigational efficiency by 68% over the traditional one, and accuracy by 29%; furthermore, the proposed technique is suitable for multiple application contexts of MDLs since it supports unimanual and eye-free operations.

Keywords: mobile digital libraries digital libraries mobile computing devices interfacial navigation interaction performance tilting gesture

声 明

发表于《图书情报工作》2018 年第 62 卷第 5 期第 97 - 105 页的题名为《基于图相似度的专利侵权检测方法研究》的文章经过专家和编辑部讨论分析,认为该文在实验论证环节存在缺陷,编辑部欢迎业界学界对此做进一步的核实、核验工作。

《图书情报工作》杂志社
2018 年 9 月